

Héctor Saúl Quintana Ramírez\*

# Reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas por desarrollo progresivo con mampostería no armada<sup>1</sup>

Quintana, H. (2015). Reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas por desarrollo progresivo con mampostería no armada. *Designia*, 3 (2), 99-119.

Reducing the seismic vulnerability in ramshackle masonry progressive housing development

## Palabras clave:

Prevención antisísmica; investigación aplicada; elementos estructurales. Vivienda por desarrollo progresivo y sismorresistencia

## Key words:

Earthquake prediction; applied research; structural elements. Progressive housing development; seismic resistance

Recibido: 22-ago- 2014

Aceptado: 2-dic- 2014

\*Arquitecto, Docente de la Facultad de Arquitectura y Bellas Artes de la Universidad de Boyacá. [hsquintana@uniboyaca.edu.co](mailto:hsquintana@uniboyaca.edu.co).

<sup>1</sup> Bajo la línea temática "Metodologías, técnicas y tecnologías para la investigación sobre Patrimonio Cultural", este trabajo fue presentado como ponencia en el IV Seminario Internacional en Patrimonio: Gestión y Restauración, organizado por la Universidad de Boyacá con la colaboración del Politécnico di Milano. El texto se deriva de investigaciones realizadas por el autor como estudiante de maestría y en su ejercicio profesional.

## Resumen:

Este artículo de reflexión relaciona los resultados obtenidos en investigaciones precedentes. Se reseña un estudio de casos de Viviendas por Desarrollo Progresivo (VPDP) en barrios populares de Bogotá, como también un diagnóstico del desempeño de sus sistemas constructivo y estructural en lo referente al cumplimiento de requisitos básicos de seguridad estructural y habitabilidad. En el trabajo se identificaron criterios normativos que regulan la reducción de la vulnerabilidad sísmica en construcciones existentes y en aquellas sujetas a restauración. Asimismo, se revisaron técnicas de atenuación de dicha vulnerabilidad, se evaluó su aplicabilidad a las VPDP de mampostería no armada y se identificaron las principales patologías que afectan la sismorresistencia de las edificaciones. La principal razón de la investigación ha sido disminuir la amenaza sísmica a que estas se encuentran expuestas debido a su precariedad, para satisfacer así las exigencias destinadas a salvaguardar la integridad de sus habitantes. En este sentido, al examinar entre el confinamiento de muros y el pañete armado cuál de las dos técnicas de intervención es más apropiada y replicable para reducir o mitigar las fallencias de las VPDP, es posible mencionar que la segunda se evidencia potencialmente como la adecuada. Finalmente, se destaca la necesidad de evaluar ambos sistemas en sus aspectos técnicos, normativos y operativos para multiplicar su eficiencia y ampliar su cobertura.

## Abstract

This reflection article discusses the results of previous research. A case study concerning progressive housing development in Bogotá's shantytowns is reviewed along to the diagnosis of the dwellings' constructive and structural systems intending to comply the structural safety and habitability essentials. The survey identified normative criteria regulating the seismic vulnerability in both existing constructions and those for being restored. Techniques for reducing that vulnerability, their possibilities to be applied in ramshackle masonry progressive housing development as well as the major pathologies affecting the seismic resistance of the dwellings were also analysed. This research's main purpose has been diminishing the seismic risk threatening the shanties due to their fragility, thereby protecting their inhabitants' integrity. In this sense, having both the confinement of walls and the reinforced plastering, it is possible to state that the latter appears to be the most appropriate and replicable technique to mitigate the constructions' problems. Finally, it is worth to stress the need of evaluating both systems in terms of their technical, normative and operational aspects in order to multiply their efficiency and scope.

## INTRODUCCIÓN



Figura 1. Viviendas en mampostería no armada.  
Fuente: autor

El presente artículo se propone como objetivo general ilustrar la investigación iniciada con la tesis de maestría de Quintana (2004) en la cual, con énfasis en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Vivienda por Desarrollo Progresivo (VPDP), se estudian tanto el proceso de construcción gradual como las edificaciones en su integralidad espacial y arquitectónica. Asimismo, se diagnostican las principales patologías que afectan la sismorresistencia de los sistemas constructivo y estructural, en función de cuyas características se recopilaban las técnicas más apropiadas de intervención en muros de mampostería no armada para reducir la alta vulnerabilidad encontrada.

Posteriormente, en una investigación conjunta realizada en 2006 con la arquitecta Diana Quimbayo de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional, se integraron las conclusiones de la tesis de maestría con la caracterización espacial y constructiva de varias viviendas estudiadas en el barrio Patio Bonito de Bogotá. Los resultados se concentraron en las intervenciones factibles de brindar soluciones al problema de la vulnerabilidad sísmica de la mampostería no armada en las VPDP.

En este texto se exponen los antecedentes y la trascendencia del estudio, la metodología empleada y los resultados obtenidos. Respecto a estos últimos se plantean, a manera de conclusión, los lineamientos de una propuesta para continuar con la investigación. A su vez, se evalúa comparativamente la calidad general de las técnicas de intervención (pañete armado y confinamiento de muros) en sus aspectos técnico, normativo y operativo. En este sentido, proseguir con dicha evaluación en nuevos desarrollos investigativos busca responder a la pregunta: entre las dos técnicas de mejoramiento sismorresistente para la VPDP, ¿cuál demuestra mejor desempeño<sup>2</sup> en la satisfacción, tanto de la exigencia principal de reducir la vulnerabilidad sísmica de la mampostería no armada, como de las otras exigencias de habitabilidad, factibilidad, replicabilidad, sostenibilidad y costos, inherentes a estos tipos de intervención?

<sup>2</sup> Desempeño se entiende como la satisfacción de manera integral, eficiente y eficaz, de las exigencias básicas de seguridad y habitabilidad de los usuarios de las VPDP, relacionadas directa e indirectamente con la intervención para la mitigación del riesgo sísmico.

<sup>3</sup> Reglamento colombiano de construcción sismorresistente, adoptado por medio del Decreto 926 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

#### 1. Técnico:

- Análisis de la calidad global con enfoque en el desempeño (prestacional);
- Pruebas experimentales de modelos en mesa vibradora;
- Modelación numérica del comportamiento estructural.

2. Normativo: evaluar la posibilidad de ampliación del criterio de mejoramiento de la norma NSR-10<sup>3</sup>, mediante la inclusión de las VPDP.

3. Operativo: definir modalidades de gestión, financiación y ejecución de programas de reducción de la vulnerabilidad sísmica de muros no armados, empleando el pañete armado o el confinamiento de muros.

## ANTECEDENTES

Cabe mencionar que en Colombia, desde hace seis décadas, se ha dado un proceso de urbanización del país rural. Desde los años cincuenta se ha registrado un crecimiento acelerado de núcleos urbanos como Popayán y Armenia, donde se presentaron terremotos que constituyen referentes para contextualizar el riesgo sísmico de Bogotá. En la NSR-10 se indica que cerca del 86% de esa población nacional se ubica en zona de riesgo sísmico latente, ya sea alto o intermedio.

## POBLACIÓN RIESGO SÍSMICO

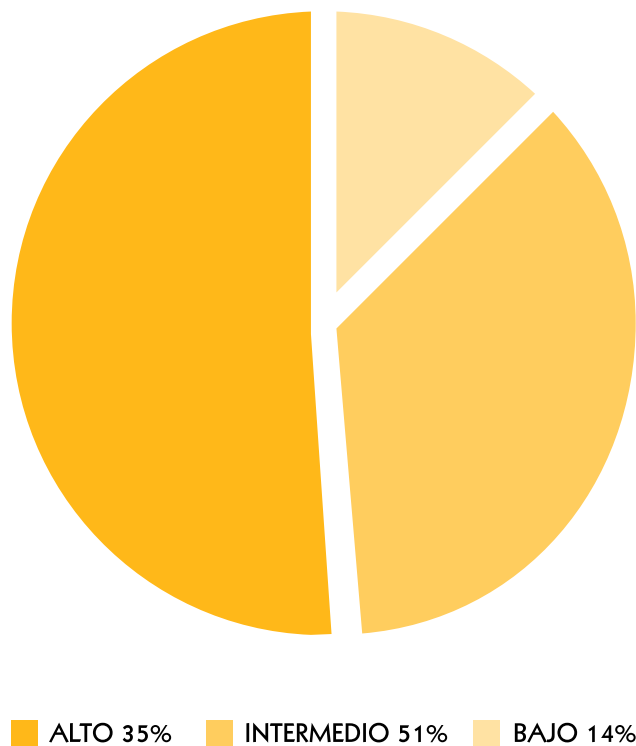


Figura 2. Población en riesgo sísmico  
Fuente: el autor con de datos de la NSR-10

<sup>4</sup> Entre marzo de 2001 y marzo de 2002, por solicitud del gobierno colombiano, la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) elaboró un plan básico para el área comprendida por los municipios de La Calera, Chía, Cota, Funza, Madrid, Facatativá, Mosquera, Soacha y la ciudad de Bogotá. Este plan proporcionó recomendaciones de los expertos japoneses e información de referencia para la preparación ante potenciales desastres causados por terremotos. La Dirección para la Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE) y la Oficina para la Atención y Prevención de Desastres y Emergencias de Cundinamarca, solicitantes del estudio, recibieron en marzo de 2002 los reportes e informes finales que contenían el plan de prevención para ser implementado en tres fases que finalizarían en 2010. La JICA ha analizado la posibilidad de realizar un trabajo complementario denominado "Estudio del sistema de alerta temprana y monitoreo sobre el deslizamiento e inundación y evaluación del desastre después de un terremoto".

<sup>5</sup> Amenaza sísmica intermedia caracterizada a través de estudios de microzonificación sísmica, esencialmente mediante la valoración de la historia de su actividad sísmica, de su ubicación geográfica, de la configuración y caracterización de las diferentes zonas geológicas y las respectivas especificaciones técnicas.

En Bogotá, en términos de su población, los cerca de 600.000 habitantes de los años cincuenta se incrementaron a los ocho millones existentes en 2015, es decir, en poco más de 60 años la cifra se multiplicó en más de 13 veces. Localizada en la geografía natural sabanera, con sus condiciones topográficas de altiplano, la ciudad ofrecía ventajas favorables para la construcción, junto con factores históricos, socioeconómicos y políticos que convergían en la primacía propia de una capital nacional, común en el contexto latinoamericano. Estas condiciones se han materializado en su acelerada e incontrolada urbanización, verificada en las últimas seis décadas mediante la expansión de edificaciones en horizontal y su creciente densificación en altura. La magnitud del crecimiento del tejido construido, en su mayoría informal, constituye actualmente el principal factor multiplicador del riesgo sísmico, debido a su alta vulnerabilidad ante este tipo de eventos. Esta es una realidad generalizada en las VPDP, modalidad constructiva prevaleciente en la capital. De hecho, un informe de 2002 de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA)<sup>4</sup> evidenció ese alto grado de vulnerabilidad, dadas las deficiencias constructivas de las edificaciones en la ciudad. Esta es una condición preocupante, si se considera que, de por sí, el suelo de la sabana bogotana presenta una amenaza sísmica categorizada como intermedia<sup>5</sup>.

- Los muros en adobe se consideran un tipo particular de mampostería no armada. En esta valoración se tienen en cuenta las siguientes consideraciones sobre las similitudes existentes, tanto entre los componentes como en el comportamiento estructural, con las mamposterías de muros no armados en bloque o ladrillo, ya sea de piedra, cemento o arcilla cocida:
- Modularidad y ensamblaje entre los mampuestos.
  - Prevalencia del trabajo estructural a compresión; a tracción es prácticamente nulo.
  - Conectividad entre mampuestos por medio de juntas de pega (aunque los muros de adobe no contengan morteros con cemento).
  - El trabajo estructural en conjunto lo realiza el tejido del muro, en el cual se da una colaboración entre la unión ejercida por las juntas de pega, la disposición del aparejo y los tipos de mampuestos (dimensión, material, etc.).
  - Presencia de trabas en la disposición de los mampuestos.

ductilidad, mientras la adhesión y el anclaje al muro evitan el pandeo de la delgada pared de revoque enmallado.

Su aplicación incluye: edificaciones patrimoniales y no patrimoniales; muros externos e internos que requieren refuerzo por una o ambas caras, lo cual depende de si el edificio presenta vínculos de valor patrimonial (usualmente la presencia de ladrillo a la vista es la condición ligada a dicho valor que impide su reforzamiento con pañete armado); cruces entre muros; esquinas y perímetros de vanos en puertas y ventanas; uniones y anclajes de muros a lo largo de las intersecciones con las cimentaciones y los entrepisos. A diferencia de la normatividad colombiana, que para edificaciones no patrimoniales (aquellas realizadas antes de la vigencia de la norma) permite solo la adecuación, en Italia se contemplan como susceptibles de mejoramiento todas las construcciones existentes, incluso las no patrimoniales.

### Colombia.

En un estudio del Grupo de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Javeriana de Bogotá (Ruiz, Varón, Forero, Serrano, Molano & Aycardi, 2002), mediante la experimentación en muretes y muros de bloques de arcilla reforzados con pañete armado, se mantuvo la integridad estructural al aplicar el sistema de refuerzo, para disminuir así el nivel de daño en las construcciones.

Las conclusiones del trabajo confirmaron cuantitativamente varios datos: el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante del muro reforzado por una cara es de 0.42 MPa; el doble de la resistencia máxima del muro sin refuerzo alguno es de 0.21 MPa, en tanto en el reforzado por ambas caras es de 0.52 Mpa (esto es, 2.5 veces la del carente de refuerzo). Igualmente, se incrementa la ductilidad al desplazamiento que al pasar de 1.5 para el muro sin refuerzo a 4.2 para el reforzado por ambas caras, conlleva a un mejor comportamiento. La evidencia experimental sugiere también que el muro de mampostería sin refuerzo presenta daños severos con una deriva de cerca del 0.5 % de la altura del entrepiso, mientras los muros reforzados por una y dos caras ofrecen, respectivamente, incrementos en su deriva última hasta valores de 1.5 % y 2.5 % de la altura de piso.

### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Como problema de investigación se definieron las edificaciones y estructuras de VPDP en los barrios populares Venecia y Patio Bonito de Bogotá, con el fin de identificar y caracterizar su habitabilidad, materiales, procesos constructivos, patologías y normatividad. Igualmente, se buscó evaluar los aspectos prioritarios relacionados con su vulnerabilidad sísmica y la adaptabilidad ofrecida por las técnicas empleadas para reforzar sus muros de mampostería no armada.

Los resultados de la investigación arrojaron la conveniencia del uso del pañete armado, respecto del cual se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Potencialmente reduce la vulnerabilidad sísmica en muros no reforzados con carencias estructurales, similares en sus condiciones a los muros de las VPDP.

- En Colombia se aplica el criterio del mejoramiento para permitir su empleo, pero solo en edificaciones Bienes de Interés Cultural (BIC), pues en aquellas que no sean de este tipo rige el criterio de adecuación. Su uso se restringe en construcciones situadas en zonas de amenaza sísmica baja, por lo tanto, se excluyen aquellas en áreas de riesgo sísmico alto e intermedio, como Bogotá.

- En la modalidad de reparación locativa el pañete armado es definido como un tipo de acabado, de modo que queda por fuera del ámbito normativo de la NSR-10. Esta norma, por el contrario, lo define como una intervención estructural, para superar así la restricción normativa (bajo el criterio de adecuación) y posibilitar su aplicación en edificaciones ubicadas en cualquiera de las tres zonas de amenaza sísmica.

- En Bogotá se usa el confinamiento de muros para reforzar la mampostería no armada de edificaciones existentes. Esta técnica es parcialmente destructiva, implica costos elevados y acarrea inconvenientes como no mejorar el tejido integral del muro, ni las condiciones termohigrométricas, acústicas y de aspecto (acabado).

- El mejoramiento sismorresistente de muros en mampostería no armada de las VPDP presenta diferencias de desempeño en sus aspectos técnico, normativo y operativo si ha sido realizado con uno u otro sistema. Por consiguiente, es necesario efectuar una evaluación integral y comparativa para aclarar, confirmar, profundizar en las ventajas y desventajas, la eficiencia, eficacia y replicabilidad de cada uno.

## AMENAZA Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS VPDP

La alta vulnerabilidad sísmica de las VPDP está asociada al bajo o nulo desempeño sismorresistente de las mamposterías no armadas que soportan sus cargas estructurales. Otra causa son las deficitarias condiciones cualitativas del tejido edificado, por haber sido realizado con pocos recursos económicos por familias autogestoras de las obras, en medio de una creciente densificación y en constante informalidad. Esto se traduce en una subestimación del riesgo de sismos, a pesar de las permanentes condiciones de amenaza sísmica alta e intermedia.



Bogotá, la ciudad colombiana mayormente poblada, es una de las urbes más densas del mundo ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, con alta probabilidad de movimientos de este tipo. Tales eventos, evaluados para el peor escenario (JICA, 2002) serían generados en el Sistema de Fallas del Piedemonte, con una magnitud Richter esperada de 7.0 que podría producir:

- 377.585 edificaciones colapsadas de 879.624 existentes en el área;
- 40.438 muertos de una población estimada de 6.985.509 para el 2001.
- 281.560 heridos de una población estimada de 6.985.509 para el 2001.

El informe JICA 2002 reportó que cerca del 80% de las construcciones bogotanas de los barrios populares de estratos 1, 2 y 3 son hechas en mampostería no armada y placas de concreto armado. En consecuencia, son muy vulnerables a sismos y requieren con urgencia la adopción de medidas para reducir esta condición.

Tabla 1. Edificaciones de estructura débil			
	Número de edificaciones de estructura débil en el área de estudio		
	Bogotá	Cundinamarca	Total
Estratos 1 y 2	340.989	36.482	377.471
Estratos 3 y 4	304.168	73.260	377.428
Estratos 5 y 6	20.215	2.233	22.448
Total	665.372	111.975	777.347

Tabla 1. Edificaciones de estructura débil  
Fuente: Informe JICA, 2002

Estas edificaciones, en su mayoría VPDP, son completadas a través de sucesivas etapas a lo largo de varios años, por parte de constructores no formales y mano de obra poco calificada, sin asistencia técnica y con escasos recursos económicos, técnicos y profesionales. Se observa entonces gran heterogeneidad y discontinuidad en el proceso constructivo, alta improvisación, escasa calidad en los materiales y una concepción intuitiva del comportamiento estructural que considera la resistencia tan solo a cargas verticales, sin prever de manera sistemática la adopción de mecanismos sismorresistentes ante sollicitaciones horizontales.

## CARACTERIZACIÓN CONSTRUCTIVA DE LAS VPDP.



Figuras 3. Ejemplos de VPDP  
Fuente: Informe JICA, 2002



Figuras 4. Ejemplos de VPDP  
Fuente: Informe JICA, 2002



Figuras 5. Ejemplos de VPDP  
Fuente: el autor



Figuras 6. Ejemplos de VPDP  
Fuente: el autor

Mediante el estudio de casos de VPDP en los barrios Venecia y Patio Bonito se diagnosticó su alta vulnerabilidad sísmica. Esta condición se debe a:

- Baja calidad de mano de obra y de ejecución en las edificaciones, pues se construyen con materiales pobres y de escasa resistencia, morteros mal realizados, bajas cantidades de cemento o una dosificación inadecuada (alta relación agua-cemento). Además, los costos de la construcción suelen ser muy bajos.
- Discontinuidad estructural, alta irregularidad y asimetría.
- Configuración arquitectónica con desequilibrio de masas respecto de las rigideces.
- Heterogeneidad en el proceso constructivo, carencia de control y de asistencia técnica en todas las etapas de diseño, ejecución y mantenimiento.
- Uso inadecuado de materiales y sistemas constructivos.
- Amarres y conexiones entre elementos estructurales inexistentes o que no son idóneos para establecer continuidad y solidaridad entre sí, de manera que garanticen un comportamiento unitario (tipo caja).

- Carácter frágil que no absorbe esfuerzos cortantes de la mampostería.
- Precaria capacidad de resistencia de los muros que en caso de sismos, incluso de no muy alta intensidad, puede llevar a un colapso de “primer modo”.
- Ausencia del trabajo como “caja” entre las placas de entrepiso y los muros portantes, al igual que asimetrías en la planta y la altura de estos y del sistema estructural en general.

## RELACIÓN CON OTRAS PATOLOGÍAS Y PRESTACIONES

Como sucede con cualquier organismo constructivo, en las VPDP las intervenciones para la reducción de la vulnerabilidad sísmica comprometen directamente al sistema tecnológico en su estructura portante. Sin embargo, este sistema (“construcción”) actúa en simbiosis con el sistema ambiental (“espacios”), en la medida que el segundo está definido física y materialmente por las características prestacionales del primero. Debido a esta relación interdependiente, al intervenir en uno se provoca una incidencia mayor o menor en el otro. Por tal motivo, existen prestaciones adicionales al desempeño estructural, las cuales deben ser tenidas en cuenta al evaluar la calidad global de una intervención para determinar así la conveniencia y eficacia de emplear una técnica de mejoramiento u otra.

En este sentido, es pertinente reconocer las principales patologías de origen constructivo, presentes en los sistemas tecnológico y ambiental de las VPDP, pues se trata de variables de referencia para analizar el posible grado de mejoramiento en la construcción al emplear una u otra de las opciones de reforzamiento sismorresistente. Así, ante dos alternativas para reducir la vulnerabilidad sísmica (confinamiento de muros y pañete armado), se puede examinar con más propiedad cuál de ellas ofrece mayores ventajas al incidir positivamente en la prestación estructural y en la corrección de los problemas frecuentes que afectan la habitabilidad en la vivienda. Tales patologías son:

*Humedad.* Es muy común y su aparición puede deberse a:

- Ascendencia capilar: proviene del terreno, pasa a través de los cimientos y aflora superficialmente en la parte baja de los muros en los primeros pisos. Es causada por

un nivel freático alto respecto de la cimentación y por filtraciones en tuberías de desagüe o de aprovisionamiento.

- Filtración: causada por fisuras o rupturas en elementos de cubierta, de ventanas o de las tuberías de desagüe (bajantes, canales, etc.). Es frecuente la humedad debida a la fisuración (por contracción de fraguado o cambios de temperatura) de la placa de entepiso que funciona como cubierta.

- Condensación: se produce a partir de la humedad relativa contenida en el aire, principalmente por la fuerte diferencia entre las temperaturas externa e interna sobre superficies en contacto con ambos ambientes. Es favorecida por las condiciones existentes en lugares carentes de ventilación e iluminación adecuadas, de dimensiones reducidas y densamente ocupados.

*Ventilación.* La tendencia a ocupar la totalidad de la superficie del lote y a aumentar en altura los volúmenes de la edificación, junto con las necesidades de seguridad y de protección ante intrusos y extraños, hacen de la falta de ventilación una patología recurrente.

Por lo general el patio, único ambiente con posibilidad de ser ventilado desde la parte superior y que debería ventilar los demás espacios de la casa, es cubierto por completo. Esta situación empeora los problemas de humedad al dificultar la evaporación superficial en los muros y facilitar el estancamiento del aire, lo cual propicia la proliferación de hongos y moho, perjudiciales para la salud.

*Iluminación.* La geometría rectangular y alargada de los lotes, la densidad de la construcción y los requerimientos asociados a las diferentes actividades de los usuarios, limitan las posibilidades de iluminación directa de los ambientes, sobre todo de aquellos ubicados en los primeros pisos y en posición intermedia dentro del lote. Entre las implicaciones relacionadas (directa o indirectamente) con la calidad de las prestaciones sismorresistentes en las mamposterías debido a la presencia de ventanas, es posible mencionar: los alineamientos verticales de las ventanas; la necesidad de proporciones mínimas entre anchos de vacíos y llenos horizontales; las dimensiones de los vanos; el reforzamiento de bordes y dinteles (vigas altas).

*Exigencias de aspecto.* Es un requisito importante para la aceptación por parte de los usuarios, en cuanto se relaciona con la presentación interior o exterior y con los acabados finales de las superficies que definen la percepción visual de los espacios en donde se efectúan las distintas actividades.

*Proceso constructivo.* Sobre este particular cabe mencionar:

- Debilitamiento por introducción de instalaciones: en los muros en mampostería con bloques de perforación horizontal, las instalaciones eléctricas, hidráulicas y de gas, son alojadas en su interior posteriormente a su construcción, lo cual implica “regatearlos” a lo largo de su desarrollo. Al romper parte del muro y rellenarlo luego con mortero se crea una discontinuidad desfavorable para el desempeño estructural.

- Compatibilidad: se refiere al mayor o menor impacto en la integridad material que se produce en los componentes constructivos intervenidos, al aplicar una u otra técnica sismorresistente. La interacción de esta con las condiciones existentes varía en relación del grado de compatibilidad, de la efectividad del mejoramiento alcanzado y del deterioro del muro.

### CARACTERIZACIÓN TÉCNICA (CONSTRUCTIVA Y ESTRUCTURAL) DEL PAÑETE ARMADO

La intervención mediante pañete armado de encamisado en los muros de mampostería deteriorados, busca incrementar la resistencia global de estos al conformar una estructura compuesta (el muro encamisado) que cumple un trabajo unitario y complementario a la vez, resultante del aporte de la resistencia tanto a la compresión por parte del muro existente como a la tracción del pañete armado (Scillone & Di Segni, 2000). La operación consiste en adosar paredes delgadas, verticales y armadas, a ambas caras del muro. Estas paredes se unen también a los cimientos y a las vigas de amarre de entrepiso<sup>7</sup>.

Este encamisado es aconsejable en distintos casos: acentuado degrado y desconexión de los elementos del ensamblaje de la mampostería; equilibrio inestable a causa de lesiones o por la precaria cohesión entre los componentes del tejido estructural; y vulnerabilidad extrema, acentuada ante sacudidas sísmicas. Las VPDP usualmente presentan estas bajas prestaciones estructurales y constructivas en sus muros no armados, particularmente en aquellos realizados con bloque de arcilla cocida n.º 4 y n.º 5. Este tipo de encamisado es siempre aconsejable cuando se prevé que la edificación soportará fuertes acciones horizontales, como las producidas por los sismos, lo cual obliga a la mampostería a resistir notables fuerzas de tracción, corte y flexión.

<sup>7</sup>Una descripción detallada (aunque no exhaustiva) de la realización de las técnicas del confinamiento de muros y del revestimiento estructural en concreto reforzado para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas existentes, se encuentra en el *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas en mampostería*, elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) con financiación de la Alcaldía Mayor de Bogotá, la Caja de Vivienda Popular (CVP) y el Fondo de Desarrollo Local de Kennedy.

### Ejecución del pañete armado

Este proceso consta de los siguientes pasos:

- Eliminación completa de los pañetes;
- Limpieza (con cepillo metálico y aire a presión), lavado y saturación del muro con agua;
- Arreglo de todas las lesiones existentes;
- Ubicación de las mallas electro-soldadas de 10x10 o 15x15 cm, con un diámetro entre 4 y 6 mm;
- Los estribos o ganchos pasantes que unen las redes puestas sobre las dos caras del muro se alojan en perforaciones pasantes oblicuas y se colocan a una distancia entre 30 y 80 cm uno del otro. Su diámetro debe estar entre 4 y 8 mm y han de poseer de 6 a 8 estribos por m<sup>2</sup>;
- Aplicación de la mezcla de cemento, ya sea a mano o con rociado a presión (con la técnica del “concreto lanzado” con aire a presión).

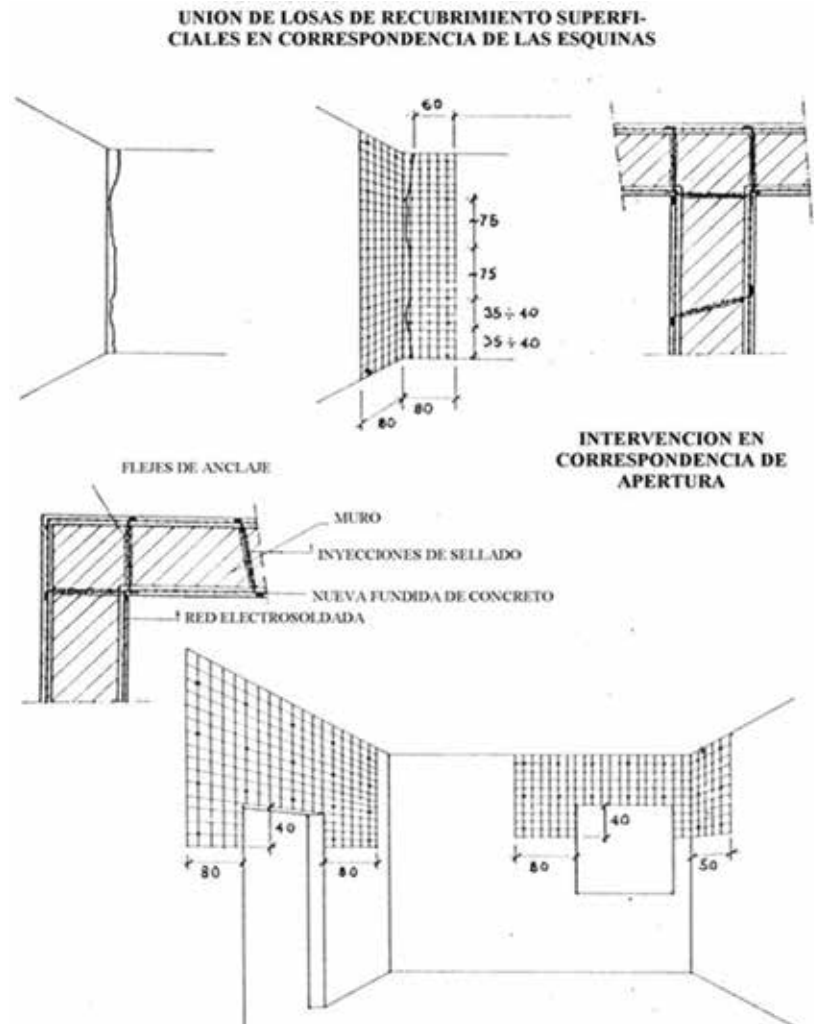


Figura 7. Pañete armado, detalle de muros, esquinas y marcos recubiertos con malla. Fuente: Scillone & Di Segni, 2000

### CARACTERIZACIÓN NORMATIVA DEL PAÑETE ARMADO

Según el capítulo D, “Mampostería estructural”, de la NSR-10, el pañete armado se clasifica, para efectos de diseño sismorresistente, “como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico”. Esta condición impide su utilización en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta.



Por tal motivo, el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE) diseñó un programa específico, denominado “Reparaciones locativas con pañete mejorado”<sup>8</sup>, que no debe cumplir los requerimientos de la NSR-10.



Figura 8. Pañete mejorado  
Fuente: FOPAE, 2010.



Figura 9. Mampostería confinada  
Fuente: arquitecto Pablo Castillo .

<sup>8</sup> La Secretaría Distrital del Hábitat y el FOPAE presentaron el 21 de octubre de 2010, en el Seminario Internacional de Gestión Integral de Riesgo Sísmico en Bogotá, “El pañete seguro en viviendas para mitigar el riesgo y reducir la vulnerabilidad sísmica”.

Según el mismo capítulo de la norma, se clasifican como muros de mampostería reforzada externamente aquellos en que el refuerzo “consiste en mallas electro-soldadas colocadas dentro del mortero de recubrimiento o revoque (pañete) en ambas caras laterales de los muros, fijándolas a ellos mediante conectores y/o clavos de acero con las especificaciones y los procedimientos descritos en el presente capítulo”. Esta restricción excluye su utilización en muros con una sola cara para reforzar, como es el caso de aquellos de cerramiento adosados por uno de sus lados a otros muros de construcciones vecinas.



Figura 10. Mampostería confinada  
Fuente: arquitecto Pablo Castillo.



Figura 11. Mampostería confinada  
Fuente: arquitecto Pablo Castillo.





Figura 12. Discontinuidad de muro por instalaciones. Fuente: el autor.

## CONCLUSIONES Y SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

Con la relación efectuada se ha buscado evidenciar las potencialidades y problemáticas asociadas con la reducción de la vulnerabilidad sísmica de la VPDP. Se han confrontado, tanto técnica como cualitativamente, los dos sistemas previstos por la NSR-10: confinamiento de muros y reforzamiento externo (pañete armado). En esta evaluación se han considerado herramientas que permiten valorar y comparar ambas soluciones para obtener así conclusiones aplicables a las intervenciones que actualmente se realizan, entre las cuales cabe mencionar:

**Técnicamente.** Propuesta de experimentación en mesa vibradora de modelos de VPDP reforzados con pañete armado y con confinamiento de vigas y columnas<sup>9</sup>. En la realidad constructiva de edificaciones existentes, realizadas de manera progresiva y de alto déficit cualitativo, la experimentación es indispensable para verificar el alcance real de las opciones de mejoramiento sismorresistente. Estas, al ser aplicadas, interactúan en caso de sismo con las condiciones técnicas y materiales presentes en los muros de mampostería no armada, en aras de reducir de forma efectiva su vulnerabilidad. Por lo tanto, se propone evaluar comparativa y experimentalmente

<sup>9</sup> La universidad EAFIT, sede Medellín, ha previsto la experimentación en mesa vibradora de mampostería no armada. Así, es recomendable consultar los avances de este estudio para relacionarlos y complementarlos con la continuación de la presente investigación en lo referente a la evaluación de la calidad global de la técnica.

las intervenciones con confinamiento de muros y con pañete armado en mesa vibradora, mediante el uso de modelos de VPDP en escala 1:1, en condiciones lo más fieles posibles a las realmente existentes en las estructuras.

La técnica actualmente empleada para reducir la vulnerabilidad en construcciones existentes es el confinamiento de muros mediante columnas y vigas en concreto armado. Ante las precarias condiciones constructivas y de calidad de los materiales usados en la mampostería de las viviendas, surge la pertinencia de evaluar este sistema y de confrontarlo con el pañete armado, con el cual se mejora directamente la capacidad portante de los muros. Además, es de fácil aplicación y menos invasivo. De tal modo, se ganaría en flexibilidad, cobertura y rendimiento, al tiempo que se optimizarían los recursos mediante la diversificación de las respuestas implementadas para el mejoramiento sismorresistente.

**Cualitativamente.** En proyectos de mejoramiento sismorresistente predio a predio o en agrupaciones de vivienda (manzanas), la incorporación del Método de evaluación de la calidad global de los objetivos y niveles (Commoglio, 2002), significa en términos operativos aplicar un instrumento de gestión y control que facilita el examen de la calidad general alcanzada (ya construida o durante la fase de proyecto) a través de las diferentes alternativas de intervención (confinamiento; pañete armado con malla electro-soldada, general o parcial; y mixta). De esta forma, se busca optimizar los recursos para cada intervención, limitar los desperdicios y errores, y escoger la solución más apropiada que permita satisfacer los requisitos prestacionales indispensables para alcanzar los objetivos específicos.

Vale la pena subrayar que las intervenciones de mejoramiento de los sistemas ambiental ("espacial") y tecnológico ("constructivo") en las VPDP, apuntan a mejorar las deficitarias condiciones constructivas y de habitabilidad, determinadas por:

- Múltiples categorías y grados de consolidación: el rancho provisional, la casa-lote, la edificación con una placa de entrepiso, aquella con placa de entrepiso y cubierta liviana, o bien con dos o más de estas placas.
- Localización sobre un terreno plano o en una pendiente más o menos acentuada.
- Diferentes grados de vulnerabilidad sísmica.

En vista de esta multiplicidad de condiciones en los estados de avance y de consolidación de las construcciones, como también en razón del alcance de una intervención, surge una amplia gama de variables. Esto, sumado a la limitación de recursos, obliga a que al decidir la clase de intervención a implementar, deban definirse con precisión las exigencias y prioridades, en consonancia con las condiciones específicas de cada caso. Por consiguiente, en aras de optimizar el rendimiento y la eficacia sin menoscabo de la calidad, el mejoramiento sismorresistente ha de responder adecuadamente a las especificidades de tales requerimientos. Para cumplir con los objetivos, los parámetros y las prestaciones, es preciso entonces aplicar la modalidad más consecuente con cada proyecto.

Ante la pluralidad de exigencias, es necesario definir lo conveniente con base en la flexibilidad y la disponibilidad de la intervención. En este sentido, evaluar la calidad global de una propuesta por medio del Método integrado de los objetivos y los niveles, tiene como finalidad manejar la complejidad presente durante la concepción de la intervención, desde el punto de vista de lo que se pretende obtener y de cómo obtenerlo. Precisamente, el planteamiento del Método se basa en la identificación de los objetivos y en la determinación de la relevancia recíproca de estos. Una vez identificados esos propósitos y sopesada su importancia relativa, se desglosan las prestaciones, los factores, requisitos y parámetros que determinan su consecución. Mediante las correlaciones entre factores, importancia relativa, objetivos y su incidencia, para cada solución potencial se obtiene su calidad global, expresada

en valores cuantitativos. De igual manera, se definen los índices de rendimiento que permiten confrontar varias probabilidades, para determinar la más adecuada. Finalmente, se obtiene un índice de calidad global con el cual se establece el rendimiento (introduciendo el tiempo de uso y el índice de costo) de la intervención.

Esta evaluación es, en esencia, una operación de sistematización y racionalización de la toma de decisiones que apunta a mantener el control de este proceso y a maximizar la eficacia de los recursos involucrados. Además, el Método pone en evidencia la calidad deseada para cada prestación definida en el proyecto teórico.

La búsqueda de un índice global de evaluación para la intervención se justifica ante las insuficiencias y los errores de las evaluaciones sectoriales. La complejidad de los procesos y la variedad de los factores en juego en los proyectos de mejoramiento sismorresistente hacen inevitable reconducir ese amplio espectro a la unidad.

De esta manera, por medio de una evaluación técnica y cualitativa de ambos sistemas se pretende responder a la pregunta ya enunciada: entre el confinamiento de muros y el pañete armado, ¿cuál es la intervención más apropiada y replicable para reducir o mitigar la alta vulnerabilidad sísmica de las VPDP?.

Cabe insistir en la necesidad de interactuar multidisciplinariamente con los entes administrativos (municipales, departamentales y nacionales) encargados de planificar, administrar y ejecutar programas de mejoramiento habitacional y de reducción de la vulnerabilidad sísmica, para avanzar así en la definición de modalidades de gestión, financiación y reglamentación de estas intervenciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El objetivo fundamental de continuar la investigación aquí presentada es aportar los propios productos, es decir, los resultados de las evaluaciones referencial, técnica y normativa, como insumos y herramientas para guiar la toma de decisiones y potenciar su aplicación en la concepción, ejecución y control de los programas oficiales de mejoramiento de las VPDP.

Agencia Japonesa de Cooperación Internacional. (2002). *Estudio de amenaza sísmica para Bogotá*. Bogotá: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, Oficina para la Prevención y Atención de Desastres de Cundinamarca.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2005). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería*. Bogotá: Carrera 7.

Commoglio, M. N. (2002). *Evaluación de la calidad global de las intervenciones ediles. Propuestas de métodos y aplicaciones*. Turin: Clut.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 926 de 2010 por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10*. Bogotá: autor.

Quintana, S. (2004). *Mejoramiento de casas por desarrollo progresivo al suroccidente de Bogotá. Reducción de la vulnerabilidad sísmica*. Tesis inédita de maestría. Politécnico de Turín, Italia.

Ruiz, D., Varón, R. A., Forero, L., Serrano, A., Molano, M. & Aycardi, L. (2002). *Refuerzo sísmico exterior para mampostería no estructural. Experimentación en muretes*. Bogotá: Universidad Javeriana.

San Bartolome, A. & Quiun, D. (2001). *Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP. Informe técnico del comportamiento sísmico de las viviendas de adobe reforzadas en Yacango y Estuquna (Moquegua) ante el terremoto de junio 23 de 2001*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro Regional de Sismología para América del Sur.

Scillone, M. L. & Di Segni, M. (2000). *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*. Roma: Kappa.